

PAT-NO: JP409021922A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09021922 A  
TITLE: PRODUCTION OF OPTICAL WAVEGUIDE  
PUBN-DATE: January 21, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HATTORI, KUNINORI

OMORI, YASUJI

OKAZAKI, HISAAKI

OGUMA, MANABU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP07173170

APPL-DATE: July 10, 1995

INT-CL (IPC): G02B006/13, G02B006/00 , G02F001/35

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to produce an optical waveguide for an optical amplifier which operates with high efficiency by effectively utilizing a hollow shape process of first forming a groove for forming a core to propagate light in a lower clad having a refractive index lower than the refractive index of the core.

SOLUTION: The lower clad glass layer 2 is formed by a flame deposition method on an Si substrate 1 and the hollow-shaped groove 2a for the purpose of forming the core is formed. The core glass layer 6 not added with Er and transparentized by sintering a deposited core glass coat is removed

by using  
reactive ion etching and the core glass 7 not added with Er is  
embedded into  
the groove 2a. Next, the hollow shaped groove 7a is formed and the  
core glass  
coat added with Er and co-added with P is deposited therein by the  
flame  
deposition method. The Er added core glass layer 3 vitrified to the  
transparent glass by sintering is removed by the reactive ion etching  
and  
thereafter, only the front surface of the Er added core glass 4  
formed within  
the groove 7a is removed, by which the core glass layer 6 not added  
with Er is  
produced. Next, the layer 6 is removed and the upper clad glass  
layer 5 having  
the refractive index equal to the refractive index of the lower clad  
glass  
layer 2 is formed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-21922

(43)公開日 平成9年(1997)1月21日

(51)IntCl <sup>*</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/13			G 0 2 B 6/12	M
6/00			G 0 2 F 1/35	5 0 1
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 B 6/00	C

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-173170

(22)出願日 平成7年(1995)7月10日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 服部 邦典

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 大森 保治

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 岡崎 久晃

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

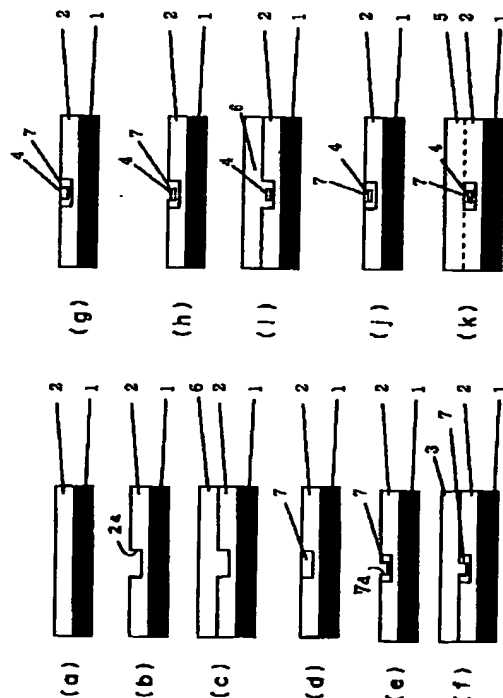
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光導波路の製造方法

(57)【要約】

【課題】 光通信、光信号処理、光計測の分野において、特に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯における信号光を増幅する機能を有する導波路型光増幅器に用いられれば大きな効果が期待できる導波路型光部品の製造方法を提供する。

【解決手段】 平面基板上に形成された光を伝搬するコアと前記コアより屈折率の低いクラッドとから構成される石英系光導波路において、下部クラッド2にコア形成用の溝2aをフォトリソ工程とエッチング工程とにより最初に作製して、コアを形成する凹型プロセスを活用して、光学活性物質であるEr添加ガラス4をEr無添加コアガラス7の中心部に添加する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 平面基板上に形成されたコア及び該コアを囲み該コアより屈折率の低いクラッドよりなる光導波路の製造方法において、

平面基板上に下部クラッド層を形成する下部クラッド層形成工程と、

前記下部クラッド層に第1の溝を形成する第1溝形成工程と、

前記下部クラッド層上に前記下部クラッド層より屈折率が高い第1のコア層を積層する第1コア層積層工程と、

前記第1のコア層の前記第1の溝部分以外を除去する第1コア部成形工程と、

前記第1のコア層に下面及び側面を残して第2の溝を形成する第2溝形成工程と、

前記第1のコア層と屈折率が等しく、光学活性物質が添加された第2のコア層を前記下部クラッド層及び前記第1のコア層の上に積層する第2コア積層工程と、

前記第2のコア層を前記第2の溝の上部に空間ができるように除去する第2コア部成形工程と、

前記第1のコア層及び前記第2のコア層の上に前記第1のコア層を再度積層する第3コア層積層工程と、

前記第1のコア層の前記第1の溝部分以外を除去する第3コア部成形工程と、

前記下部クラッド層及び前記第1のコア層の上に前記第1のコア層より屈折率の低い上部クラッド層を形成する上部クラッド層形成工程と、よりなることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項2】 請求項1に記載の光導波路の製造方法において、

前記第1溝形成工程及び前記第2溝形成工程が、フォト工程とエッチング工程とよりなることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項3】 請求項1乃至2に記載の光導波路の製造方法において、

前記第1コア部成形工程、前記第2コア部成形工程及び第3コア部成形工程が、エッチング工程よりなることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項4】 平面基板上に形成されたコア及び該コアを囲み該コアより屈折率の低いクラッドよりなる光導波路の製造方法において、

平面基板上に下部クラッド層を形成する下部クラッド層形成工程と、

前記下部クラッド層に第1の溝を形成する第1溝形成工程と、

前記下部クラッド層より屈折率が高い第1のコア層原料、前記第1のコア層と屈折率が等しく、光学活性物質が添加された第2のコア層原料、前記第1のコア層原料をこの順に前記下部クラッド層上に積層させるコア層原料積層工程と、

焼結により前記第1のコア層原料及び前記第2のコア層

原料を焼結により第1のコア層及び第2のコア層とするコア層焼結工程と、

前記第1のコア層及び第2のコア層の前記第1の溝部分以外を除去するコア部成形工程と、

前記下部クラッド層及び前記第1のコア層及び前記第2のコア層上に前記第1のコア層より屈折率の低い上部クラッド層を形成する上部クラッド層形成工程とよりなることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項5】 請求項4に記載の光導波路の製造方法において、

コア層原料積層工程が、火炎堆積法であることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項6】 請求項4又は5に記載の光導波路の製造方法において、前記第1溝形成工程が、フォト工程とエッチング工程とよりなることを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項7】 請求項1乃至請求項6に記載の光導波路の製造方法において、

前記光学活性物質が希土類元素であることを特徴とする光導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光信号処理、光計測の分野における導波路型光部品の製造方法に関するものである。特に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯における信号光を増幅する機能を有する導波路型光増幅器に用いれば大きな効果が期待できる。

## 【0002】

【従来の技術】最近、光通信に重要な $1.5\mu\text{m}$ 帯の信号光を増幅する導波路型光増幅器の開発が盛んである。この導波路型光増幅器は希土類元素であるErの $1.5\mu\text{m}$ 帯でのレーザ遷移を利用したものであり、光増幅により伝搬損失や分岐損失を補償することができるため、極めて有用な光部品である。導波路型光増幅器を作製するには、従来の受動型光導波回路の作製方法と同様、凸型プロセスと称する工程により作製される。

【0003】図5に凸型プロセスによる光増幅器用Er添加光導波路の製造方法を示す。まず、Si基板1上に火炎堆積法を用いて下部クラッドガラス層2を形成する（図5（a）参照）。次にPを共添加したEr添加コアガラス層3を形成して、フォト工程とエッチングによりEr添加コアガラス4を矩形状に加工する（図5（b）及び（c）参照）。さらに、コアを上部クラッドガラス層5で埋め込むことにより（図5（d）参照）、Er添加光導波路が作製されている。

【0004】この方法を用いると、任意の導波路パターンを形成することができる。従って、従来の導波路型光部品に用いられている方向性結合器やリング共振器などの光回路を精度よく、かつ、再現性よく作製することができる。

【0005】ところで、希土類添加光導波路を用いた光増幅器では、光ファイバ型光増幅器に比べて、伝搬損失が高いため、希土類元素を高濃度に添加しなければならず、高い励起光強度が必要となる。ところが、半導体レーザを励起光源として用いて光増幅を行うには光源の光出力に限界があるため、単位励起光強度に対する利得を向上させ、高効率に動作させることが重要となる。高効率化の手段として、Er添加ファイバ型光増幅器においては、Erをコア中心部に添加した光ファイバを用いる方法が実現されている。これは、光強度の大きいコア中心部にErを添加することにより、単位励起光強度あたりの増幅度を向上させるものである。光導波路においても、同様に導波路のコア中心部にErを添加すると、増幅度の向上が期待できる。

【0006】従来の凸型プロセスでは、フォト工程とエッチングの組み合わせでErをコアの中心部に添加することは実際困難であり、特開平4-271328号公報に記載されたように、はじめにEr添加のコアよりなる光導波路を作製し、光導波路作製後、加熱することによりコアの中から屈折率添加用の物質のある周囲のクラッド部に拡散させることによりコア全体を拡大させ、結果としてコア中心部のみErが存在するようにする技術が提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した提案方法では、熱処理による拡散を利用していることから、コア幅やコアの屈折率分布の制御性が悪いという問題点があった。従って、光干渉を利用する光回路においては、1 $\mu$ m以下のパターン精度が要求されるため、方向性結合器、マッハツェンダ干渉系を再現性よく作製することは困難であった。

【0008】さらに特開平4-359230号公報、特開平6-281977号公報等においても二層コアよりなる光導波路に関する技術が開示されているが、これらはいずれも種類の異なるコアが垂直方向に積層されるものであり、水平方向にもコアの堆積が異なるように分布されるものは提案されていない。

【0009】本発明は、これらの問題点を鑑みてなされたものであり、その目的は、高効率で動作する光増幅器用光導波路の製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明の光導波路の製造方法は、平面基板上に形成された光を伝搬するコアと前記コアより屈折率の低いクラッドとから構成される石英系光導波路において、下部クラッドにコア形成用の溝をフォト工程とエッチング工程とにより最初に作製して、コアを形成する凹型プロセスを活用することを特徴とする。

【0011】すなわち、本発明の第1の光導波路の製造方法は、平面基板上に形成されたコア及び該コアを囲み

該コアより屈折率の低いクラッドよりなる光導波路の製造方法において、(1)平面基板上に下部クラッド層を形成する下部クラッド層形成工程と、(2)前記下部クラッド層に第1の溝を形成する第1溝形成工程と、

(3)前記下部クラッド層上に前記下部クラッド層より屈折率が高い第1のコア層を積層する第1コア層積層工程と、(4)前記第1のコア層の前記第1の溝部分以外を除去する第1コア部成形工程と、(5)前記第1のコア層に下面及び側面を残して第2の溝を形成する第2溝形成工程と、(6)前記第1のコア層と屈折率が等しく、光学活性物質が添加された第2のコア層を前記下部クラッド層及び前記第1のコア層の上に積層する第2コア層積層工程と、(7)前記第2のコア層を前記第2の溝の上部に空間ができるように除去する第2コア部成形工程と、(8)前記第1のコア層及び前記第2のコア層の上に前記第1のコア層を再度積層する第3コア層積層工程と、(9)前記第1のコア層の前記第1の溝部分以外を除去する第3コア部成形工程と、(10)前記下部クラッド層及び前記第1のコア層の上に前記第1のコア層より屈折率の低い上部クラッド層を形成する上部クラッド層形成工程と、よりなることを特徴とする。

【0012】また、前記第1の方法において、前記第1溝形成工程及び前記第2溝形成工程が、フォト工程とエッチング工程とよりなることを特徴とする。

【0013】また、前記第1の方法において、前記第1コア部成形工程、前記第2コア部成形工程及び第3コア部成形工程が、エッチング工程よりなることを特徴とする。

【0014】一方、本発明の第2の光導波路の製造方法は、平面基板上に形成されたコア及び該コアを囲み該コアより屈折率の低いクラッドよりなる光導波路の製造方法において、(1)平面基板上に下部クラッド層を形成する下部クラッド層形成工程、前記下部クラッド層に第1の溝を形成する第1溝形成工程と、(2)前記下部クラッド層より屈折率が高い第1のコア層原料、前記第1のコア層と屈折率が等しく、光学活性物質が添加された第2のコア層原料、前記第1のコア層原料をこの順に前記下部クラッド層上に積層させるコア層原料積層工程と、(3)焼結により前記第1のコア層原料及び前記第2のコア層原料を焼結により第1のコア層及び第2のコア層とするコア層焼結工程と、(4)前記第1のコア層及び第2のコア層の前記第1の溝部分以外を除去するコア部成形工程と、(5)前記下部クラッド層及び前記第1のコア層及び前記第2のコア層上に前記第1のコア層よりも屈折率の低い上部クラッド層を形成する上部クラッド層形成工程とよりなることを特徴とする。

【0015】また、前記第2の方法において、コア層原料積層工程が火炎堆積法であることを特徴とする。

【0016】また、前記第2の方法において、前記第1溝形成工程がフォト工程とエッチング工程であることを

特徴とする。

【0017】また、前記第2の方法において、前記光学活性物質が希土類元素であることを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面により本発明を実施する形態について詳細に説明する。

【0019】本発明によれば、コアの寸法精度は下部クラッドに形成する溝の加工形状によって決定されることから、方向性結合器など干渉を利用する光回路をパターンやせやコア変形なく作製することができ、かつ、屈折率の高いコアの中心部に希土類元素を添加することが可能となる。

【0020】この製造方法は、フォト工程とエッチングの組み合わせにより希土類元素をコア中心部に添加していることから、平坦なガラス膜が形成可能ならば、コアガラスの製造方法、コアガラス組成に関して制限はない。

【0021】例えば、本発明が有効なガラス膜製造方法としては、火炎堆積法、CVD法、スパッタ法を挙げることができる。

【0022】また、ガラス組成に関しては、P、Ge、Ti、Bなどを任意に選ぶことができる。

【0023】また、希土類元素としては、光通信で利用される1.3 $\mu$ m帯および1.5 $\mu$ m帯にレーザ遷移を有するNd、Erのほか、Sm、Hoを挙げることができ、さらにはErの0.98 $\mu$ m帯の吸収に対して増感作用を有するYbも挙げることができる。

【0024】これらの希土類元素とP、Geなどの屈折率を高める元素とは任意に組み合わせ適用することができる。

【0025】特に、火炎堆積法を用いる場合、凹型に溝加工した下部クラッドガラスの上に、希土類元素を含まないコアガラススートを堆積し、次に希土類元素を含むコアガラススートを堆積し、さらに、希土類元素を含まないコアガラススートを堆積して、高温中で焼結すると、希土類元素は拡散量が小さいことからコア中心部のみ分布するようにコアガラススートが凹部に埋め込まれる。従って、3層からなるコアガラススートを形成すれば、1回の焼結で希土類元素をコアの中心部に添加することができ、フォト工程とエッチングはそれぞれ1回

【0026】また、火炎堆積法を用いると、3層からなるコアガラススートは、連続堆積により1回で形成することができる。このことから、火炎堆積法が、製造工程を簡略化できることから、希土類元素をコアの中心部に添加する製造方法として好適である。

【0027】いずれの方法で作製しても、本願発明の方法による光導波路は特開平4-271328号公報に開示された光導波路と比較して、コアとクラッドの境界が明確なため、導波特性に優れたものとなり、特開平4-

359230号公報、特開平6-281977号公報に開示された光導波路と比べて、水平方向にも中心部だけに光学活性物質が分布しているため、光学活性特性の効果が大きくなる。

【0028】

【実施例】以下本発明の好適な実施例を図面を参照にして説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0029】実施例1

10 図1に本発明における光導波路の作製工程を示す。ここで、本実施例では、希土類元素としてErを用いた。

(1) まず、Si基板1上に、火炎堆積法により約30 $\mu$ m厚の下部クラッドガラス層2を作製する(図1(a)参照)。

(2) 次にコアを形成するための幅6 $\mu$ m、深さ6 $\mu$ mである凹型の溝2aをフォト工程及び反応性イオンエッチングにより形成する(図1(b)参照)。

(3) 次に、火炎堆積法によりErを含有しておらずB、P、Geを添加したコアガラススートを堆積する。

20 (4) コアガラススートを透明ガラス化するため、電気炉中にて1300℃で2時間保持して焼結する。

(5) Er無添加コアガラス層6は膜厚12 $\mu$ mとした(図1(c)参照)。

(6) 次に、反応性イオンエッチングを用いてEr無添加コアガラス層6を除去し、前記溝2aにEr無添加コアガラスを埋め込む(図1(d)参照)。

(7) 次に、Er添加コアになる幅3 $\mu$ m、深さ4.5 $\mu$ mである凹型の溝7aをフォト工程及び反応性イオンエッチングにより形成する(図1(e)参照)。

30 (8) 次に、Er添加P共添加コアガラススートを火炎堆積法により堆積する。

(9) Er添加P共添加コアガラススートを透明ガラス化するため、電気炉中にて1200℃で2時間保持して焼結する。

(10) Er添加コアガラス層3の膜厚は12 $\mu$ mとした(図1(f)参照)。

(11) 次に、反応性イオンエッチングを用いてEr添加コアガラス層3を除去する(図1(g)参照)。

40 (12) 次に、フォト工程及びエッチングにより溝7a内に形成されたEr添加コアガラス4の上面のみを1.5 $\mu$ m除去する(図1(h)参照)。

(13) 次に、火炎堆積法により、膜厚12 $\mu$ mであるEr無添加コアガラス層6を作製する(図1(i)参照)。

(13) 次に、反応性イオンエッチングによりEr無添加コアガラス層6を取り除く(図1(j)参照)。

(14) 最後に、火炎堆積法を用いて下部クラッドガラス層2と等しい屈折率を有するB及びPを添加した上部クラッドガラス層5を約30 $\mu$ m火炎堆積法により形成する(図1(k)参照)。

この実施例で作製した導波路は、コア寸法 $6\mu\text{m}\times 6\mu\text{m}$ 、コアクラッド間の屈折率差0.75%、Er添加領域 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ 、Er濃度4000ppmであり、Er添加ガラス4はEr無添加コアガラス7の中心部に添加されている。

【0030】次に、本実施例の光導波路製造方法を用いて、励起光と信号光の合分波回路を集積した光増幅器を作製した。図2に回路構成の概略を示す。図2中、符号10は信号光入力用光導波路、11は励起光入力用光導波路、12a、12bはマッハツェンダ干渉計、13は光増幅用光導波路、14は信号光出力用光導波路、15は励起光出力用光導波路を各々図示する。本光増幅器全体は上述した方法を用いて、Erをコアの中心部に添加した光導波路により構成した。

【0031】この光増幅器を動作するには、まず、波長 $1.47\mu\text{m}$ の励起光及び波長 $1.5\mu\text{m}$ の信号光を単一モード光ファイバを用いて励起光入力用導波路11及び信号光入力用導波路10に入射する。励起光は方向性結合器I及び方向性結合器IIから構成されたマッハツェンダ干渉計12aにより励起光入力用光導波路11を伝搬する光強度に対して99%の光強度が光増幅用光導波路13に入射してErイオンを励起し、信号光は信号光入力用光導波路10に対して99%の光強度が光増幅用光導波路13に伝搬する。ここで、励起されたErイオンにより光増幅用光導波路13を伝搬する信号光が増幅される。

【0032】さらに、該光増幅用光導波路13を伝搬した励起光は、方向性結合器III及び方向性結合器IVから構成されるマッハツェンダ干渉計12bにより方向性結合器I及び方向性結合器IIから構成されたマッハツェンダ干渉計12aと同様な動作原理で99%の結合率で分波され励起光出力用光導波路15に、光増幅用光導波路13で増幅された信号光は99%の結合率で信号光出力用光導波路14にそれぞれ伝搬し、信号光のみが単一モード光ファイバによって取り出される。

【0033】この光増幅器を用いて、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光増幅実験を行ったところ、単一モード光ファイバの出射端における励起光の光強度が $30\text{mW}$ である場合、信号光の光強度が $30\text{dB}$ 増幅され、利得効率が $1\text{dB}/\text{mW}$ であることが明らかとなった。コアにErを均一に添加した場合の利得効率は $0.3\text{dB}/\text{mW}$ であることから、本発明の製造方法によるEr中心添加光導波路を用いることで、利得効率を3倍改善できることが判明した。

【0034】本実施例では、ガラス膜作製に火炎堆積法を用いたが、これは、この方法が、比較的厚く高品質なガラス膜の堆積に適しているからである。場合によっては、別のガラス膜合成方法、例えばCVD法やスパッタ法を一部または全部に用いることもできる。

【0035】実施例2

図3に本発明における光導波路の作製工程を示す。ここで、希土類元素としてErを用いた。

(1) まず、Si基板1上に、火炎堆積法により約 $30\mu\text{m}$ 厚の下部クラッドガラス層2を作製する(図3(a)参照)。

(2) 次にコアを形成するための幅 $6\mu\text{m}$ 、深さ $6\mu\text{m}$ である凹型の溝2aをフォト工程及び反応性イオンエッチングにより形成する(図3(b)参照)。

(3) 次に、火炎堆積法により、一層目としてPを添加したEr無添加コアガラスシート8を堆積し、次に二層目としてEr添加P共添加コアガラスシート9を堆積し、さらに三層目としてPを添加したEr無添加コアガラスシート8を堆積する(図3(c)参照)。

(4) 次に、コアガラスシートを透明ガラス化するため、電気炉中にて $1200^\circ\text{C}$ で2時間保持して焼結する。

(5) コアガラスは膜厚 $12\mu\text{m}$ であり、一層目のEr無添加コアガラス層6の膜厚を $4.5\mu\text{m}$ 、二層目のEr添加コアガラス層3の膜厚を $3\mu\text{m}$ 、三層目のEr無添加コアガラス層6の膜厚を $4.5\mu\text{m}$ とした(図3(d)参照)。

(6) 次に、反応性イオンエッチングを用いて三層構造であるコアガラス層を除去する(図3(e)参照)。

(7) 次に、火炎堆積法を用いて下部クラッドガラス層2と等しい屈折率を有するB及びPを添加したガラス膜を約 $30\mu\text{m}$ 上部クラッドガラス層5として火炎堆積法により形成する(図3(f)参照)。

【0036】この実施例で作製した導波路は、コア寸法 $6\mu\text{m}\times 6\mu\text{m}$ 、コアクラッド間の屈折率差0.75%、Er添加領域 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ 、Er濃度4000ppmであり、Er添加ガラス4はEr無添加コアガラス7の中心部に添加されている。

【0037】次に、本実施例の光導波路製造方法を用いて、マッハツェンダ干渉計を用いた合分波回路を集積したリングレーザを作製した。

【0038】図4に回路構成の概略を示す。図4中、符号11は励起光入力用光導波路、12cはマッハツェンダ干渉計、16は発振光出力用光導波路及び17はリング光導波路を各々図示する。本リングレーザは、上述した方法により得られたすべてErをコアの中心部に添加した光導波路を用いて構成した。

【0039】このリングレーザを動作するには、まず、波長 $1.47\mu\text{m}$ の励起光を単一モード光ファイバを用いて励起光入力用導波路11に入射する。励起光は方向性結合器V及び方向性結合器VIから構成されたマッハツェンダ干渉計12cにより励起光入力用光導波路11を伝搬する光強度に対して99%の光強度がリング導波路に入射してErイオンを励起する。励起されたErイオンが緩和する際に発する自然放出光は方向性結合器V及び方向性結合器VIから構成されたマッハツェンダ干渉計

12cが $1.5\mu\text{m}$ 帯において95%の高結合率を有することからリング導波路の中に閉じ込められ、誘導放出に至る。このリング導波路中を周回する発振光は、発振出力用導波路16を通過し単一モード光ファイバによって取り出される。

【0040】このリングレーザを用いて、 $1.5\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振実験を行ったところ、発振閾値が単一モード光ファイバの出射端における励起光の光強度で10mWであり、励起光強度50mWにおいて発振光強度が10mWであることが明らかとなった。コアにErを均一に添加した場合の発振閾値励起光強度及び励起光強度50mWにおける発振光強度はそれぞれ20mW及び5mWであることから、本発明の製造方法によるEr中心添加光導波路を用いることで、利得効率を向上でき、レーザ発振特性の改善が図られることが判明した。

【0041】以上により、本発明の光増幅器用光導波路の製造方法では、Erをコア中心部に添加することができ、光増幅、レーザ発振に要する励起光強度を低減するうえで有効であることが明らかとなった。

【0042】以上の実施例1及び2では、光回路全体をEr中心添加光導波路を用いて構成したが、本発明は凹型プロセスを用いており、異種の導波路を0.1dB以下の低損失で接続可能なことから、光増幅を必要である回路部を本発明のEr中心添加光導波路で形成し、光増幅が不要であり、かつ、信号光を低損失で伝搬させる必要のある合分波回路などの回路部にErを添加しない光導波路で形成する回路構成は有用である。

【0043】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の光導波路の製造方法によれば、希土類元素をコアの中心部に添加した光導波路を作製することができ、かつ、本質的にコア変形などのゆらぎの小さい光導波路を作製することが可能である。従って、例えば希土類を添加して光増幅に使用する場合、希土類添加部の励起光強度を高めるこ

とができ、より小さい励起光強度で動作する光増幅器、レーザを高精度かつ再現性よく作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路作製過程を示す導波路断面図である。

【図2】本発明の実施例1の励起光と信号光の合分波回路を集積した光増幅器の回路構成を示す断面図である。

【図3】本発明の光導波路作製過程を示す導波路断面図である。

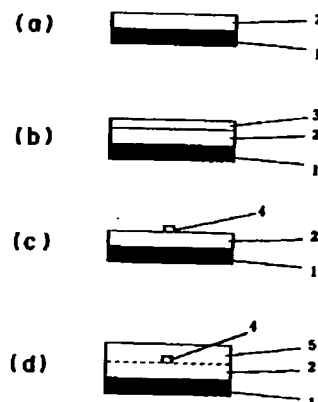
10 【図4】本発明の実施例2のマッハツェンダ干渉計を用いた合分波回路を集積したリングレーザの回路構成を示す断面図である。

【図5】従来の凹型プロセスによる希土類添加光導波路の作製過程を示す図である。

【符号の説明】

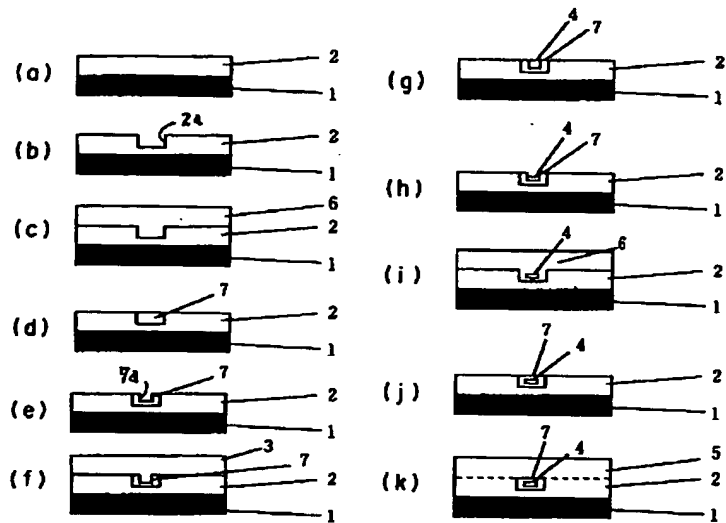
- 1 Si基板
- 2 下部クラッドガラス層
- 3 Er添加コアガラス層
- 4 Er添加コアガラス
- 5 上部クラッドガラス層
- 6 Er無添加コアガラス層
- 7 Er無添加コアガラス
- 8 Er無添加コアガラススト
- 9 Er添加コアガラススト
- 10 信号光入力用光導波路
- 11 励起光入力用光導波路
- 12a, 12b, 12c マッハツェンダ干渉計
- 13 光増幅用光導波路
- 14 信号光出力用光導波路
- 15 励起光出力用光導波路
- 16 発振光出力用光導波路
- 17 リング光導波路
- I, II, III, IV, V, VI 方向性結合器

【図5】

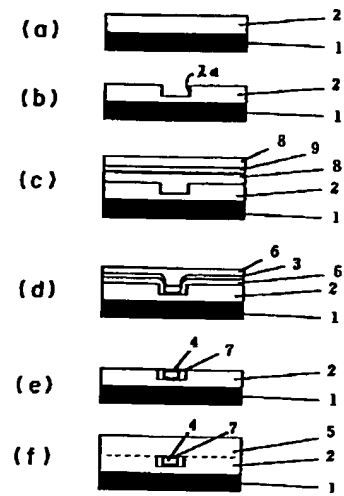




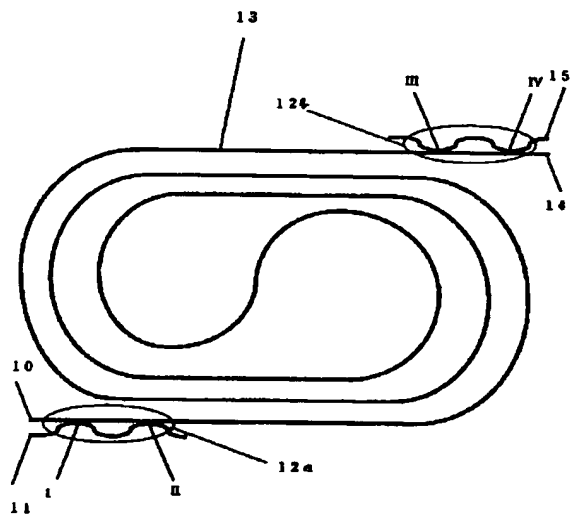
【図1】



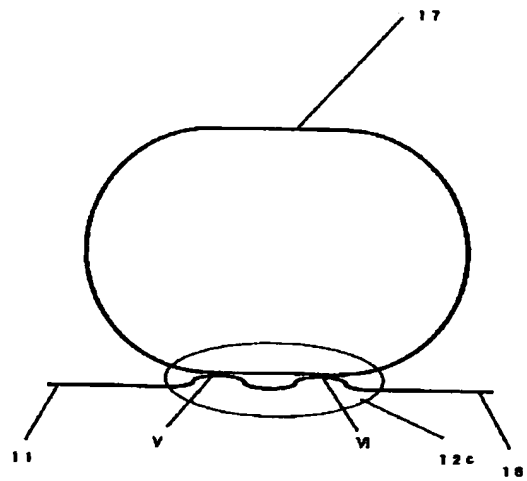
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 小熊 学

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内